JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	ファインセラミックス産業の成立に関する日本の技術政策の歴史的役割
Author(s)	木場，篤彦
Citation	年次学術大会講演要旨集，23: 235-238
Issue Date	2008-10-12
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/7543
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

１Ｅ０６

講演題目
「ファインセラミックス産業の成立に関する日本の技術政策の歴史的役割」

○木場　篤彦（(独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO））

［要旨］
近代セラミックス産業は、明治期に外国から技術移転した窯業から始まった。20 世紀前半の真空管用セラミックスとしての利用と共に、「ニューセラミックス」産業が立ち上がった。しかしながら、部材としての高い利用価値を持った「ファインセラミックス」が開発されたのは、80 年代以降と比較的新しい。日本が牽引するファインセラミックス産業立ち上げには、セラミックス業界の努力とともに、政府側の技術政策との共進的発展があった。本発表では、セラミックス分野の発展を技術史的観点から俯瞰した上で、ファインセラミックス産業創出に与えた政府の技術政策の役割を論じる。

［１］セラミックス技術史俯瞰

セラミックスは、無機材料の内、金属材料以外のものすべてを一般に指す。広義には、陶磁器・ガラス・耐火物等が含まれ、金属酸化物で、高温での熱処理によって焼き固めた焼結体を示してきた。技術史体系として整理すると、セラミックスは大きく３時代に区分ができる。第１期は、19 世紀前半までの伝統的な陶器・磁器・ガラス産業である。第２期は、19 世紀半ば以降の近代窯業の時代である。日本においては、明治期のお雇い外国人であったゴットフリード・ワグネル（Gottfried Wagener）が、東京職工学校（現東京工業大学）で科学的手法による陶磁器・ガラスを伝授し、焼成温度や組成を科学的にコントロールするようになった。ワグネルの教え子により、日本国内で、陶磁器・ガラス・セメント・耐火物等の近代セラミックス産業が根付いた[1]。

第３期前半は、第二次世界大戦後に米国での研究から始まった、「ニューセラミックス」の時代である。電子・磁気・光学材料、非酸化物系材料、高純度材料など、原料と製造工程の厳密な制御を要する「ニューセラミックス」が登場し、近代産業としてのセラミックスの歴史が始まった。まず登場したのが、ラジオやテレビ用の真空管用セラミックスである。絶縁体として優れるだけでなく、高い周波数で使用しても、セラミックスであれば、高い出力が得られるからである。真空管用セラミックスの開発から、金属との異種材料接合技術も開発が始まった。

「ニューセラミックス」が最も広く活用されたのが、トランジスタや IC のパッケージ材料である。トランジスタや IC は、光や湿度などの環境に影響されやすく、ガラスや樹脂の封止では電気絶縁性や安定性が確保できなかった。非常に難しいとされた焼成に伴う収縮寸法ばらつきをコントロールする技術ができたことで、無機焼結材であるセラミックパッケージが実現した。これにより、トランジスタや IC の耐候性が増し、さらに物理的強度や放熱性が確保され、エレクトロニクス時代を切り開く原動力となった[2]。また、エレクトロニクス時代のもう一つの重要な製品はセラミック・コンデンサであった。原料・製造工程を厳密にコントロールし、誘電性や磁性などの特性をきめ細かく管理できるようになり、インダクタンスが少なく高周波特性が良いセラミックスをセラミック・コンデンサとすることで、電源一次側のノイズカットが可能になった[3]。このように、1940～1960 年代にセラミックス産業は、かつての窯業に代表される「オールドセラミックス」から、電子・磁気・光学材料・非酸化物系材料・高純度材料に広く部材として用いられる現代型産業へと転換したと言える。

第３期後半は「ニューセラミックス」から「ファインセラミックス」へのシフト[4]と、日米欧各国での国家プロジェクトの始動の時代である。端緒を切ったのは、1971 年にスタートした米国国家プロジェクトの自動車向けセラミックスガスタービンエンジン開発（BMD:Brittle Material Design）であった(米国では「ファインセラミックス」ではなく、”Advanced Ceramics”と称する)。従来のセラミックスよりも耐熱性・耐腐食性に優れたファインセラミックスを、産学官一体となって開発するという発想は、日本にも多大な影響を与えたと言われている。米国でのスタートに遅れること約 10 年、「ファインセラミックス」プロジェクト（1981～1992 年）がスタートした。欧州では 1975 年から西独で BMFT (Ceramic Components Vehicle Gas Turbines Development)がスタートした。これ以後、現在に至るまで、日米欧で国家プロジェクトを起爆剤とした「ファインセラミックス」開発の時代に入った。

［２］「ファインセラミックス」技術政策

日本国内での「ファインセラミックス」技術政策は、同分野での国家プロジェクトとして具体的に実施された。国内での国家プロジェクトは 1981 年から始まり、現在までに凡そ 10 のプロジェクトが実施されている(図１参照)。90 年代前半までは通商産業省工業技術院（現：経済産業省）が、以降は NEDO が主体となって実施した。初期の「ファインセラミックス（プロジェクト)」「セラミックスガスタービン」「シナジーセラミックス」参画企業については、日本の主要セラミックス企業のほとんどが入ってい

キーワード：技術史、技術政策、共進化、スピルオーバー、セラミックス

[1] 加藤誠軌「日本の近代窯業育ての親ワグネル」『化学と工業』Vol.35, No.8(1982), p570.

[2] Kazuo Inamori, Technology Development of Ceramics in Kyocera, (1ST International Congress On Ceramics), p6.

[3] 村田製作所編『セラミックコンデンサの基礎と応用―エレクトロニクス産業を支える』オーム社，2003 年。

[4] 両者は同義として扱われることが多いが、ニューセラミックスは戦後から 70 年代にかけて主に用いられ、ファインセラミックスは京セラ稲盛和夫による提唱（1973 年）を端緒として、80 年代以後に主に用いられたことから、本発表では、両者を第３期の前半と後半を区別するものとして扱う。

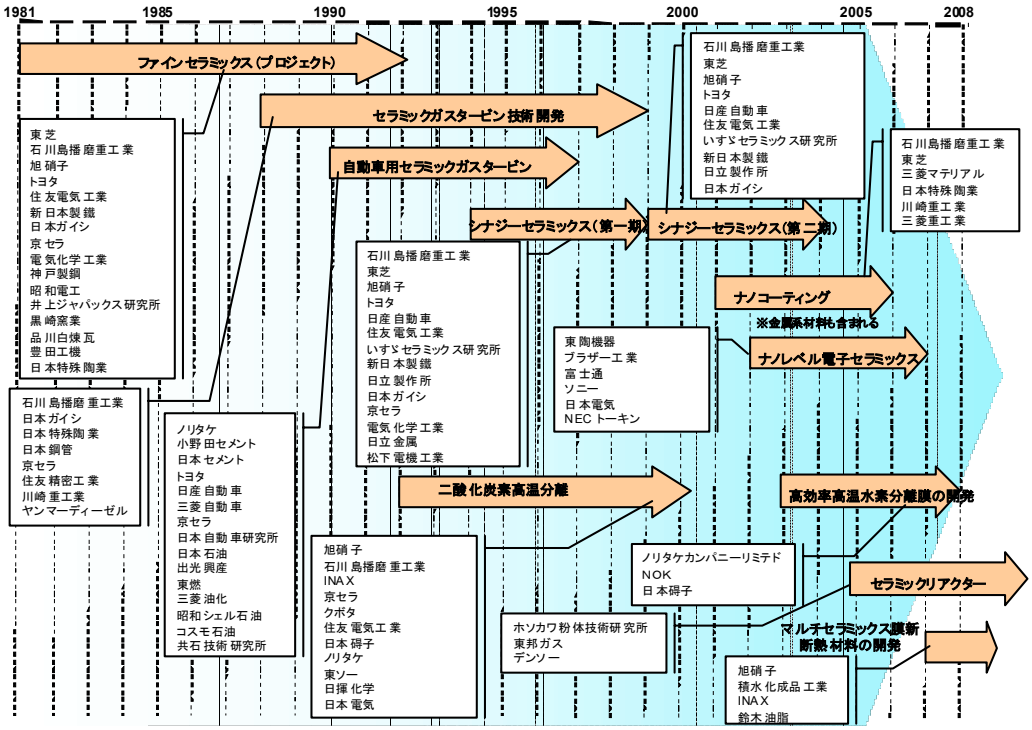

図1　セラミックス国家プロジェクト一覧と参画企業

※大学・国研・公益法人は除いている

ることに示されるように、日本の「ファインセラミックス」産業全般に、極めて大きなインパクトを持っていたと言える（開発概要と成果は図２・３・４を参照）。さらに、研究開発の受け皿として、「ファインセラミックス技術研究組合(FCRA)」が 1981 年に、1982 年には通商産業省内にファインセラミックス室が設置されるなど、官民挙げてのファインセラミックス開発環境の整備が始まった[5]。

「ファインセラミックス（プロジェクト）」は、原料粉体の高純度化、量産化技術、成形・焼結技術、加工・接合技術といった基盤開発に基礎を置いており、プロジェクトの終了とともに、非酸化物系セラミックス原料（窒化ケイ素等）は、日本が独占的に供給する状況が続いている[6]。このプロジェクトでは、高温高強度・高耐食・高耐磨耗等の各特性を有する構造材料たるファインセラミックスを開発した。特に、窒化ケイ素・炭化ケイ素について、原料粉体・成形・焼結加工・複合化の各プロセスを開発し、セラミック部材に関して 1,500℃で最低保証強度 400MPa、ワイブル係数 20 以上、破壊靭性 8MPa･√m の値を達成した[7]。「シナジーセラミックス」では、高温エネルギー材料技術、超精密材料技術、高機能能動材料技術といった用途開発に重点を移している。セラミック材料の相反する特性の調和や、種々の機能の同時付与を可能とする高次構造制御技術を用いて、現在のレベルを大きく越える革新的な特性を持った材料(シナジーセラミックス）の創製技術を確立することを目標とし、第１期では、高次構造制御技術の基礎的研究開発及び支援技術としての解析・評価技術を開発した。成果として、窒化ケイ素セラミックスの配向性を微細な種結晶の添加によって制御し積層状に焼成することによって、高強度(従来材料の約 2 倍にあたる 1.2 GPa)と同時に高靭性(従来材料の約 2 倍にあたる 13 MPa･√m ）を達成し、高温下での高強度と高靭性を要求される機械部品へのセラミックス利用の促進が図られた。また第２期では、第１期で開発された高次構造制御技術等を駆使し、高耐性材料または多重機能材料たるシナジーセラミックスの創製技術を開発した[8]。

また、国家プロジェクトの始動に伴い、プロジェクトの中心メンバーであり、セラミックス規格関連団体である JFCA[9]・JFCC[10]より、多数の JIS 規格が出されている。特に、JIS R 1601（曲げ試験方法）に代表される試験規格は、「ファインセラミックス（プロジェクト）」の波及効果として規格化されたものであり、ISO として、海外においても広く用いられている。国内市場規模と規格化数、主な新ファインセラミックス部材の上市年度を図５に示す。

海外では、欧米で関連技術政策が実施されている。主要なプロジェクトの概要を表１に示す。米国では、エネルギー省（DOE）・国立科学財団（NSF）・国防総省（DOD）が関係する国家プロジェクトを実施してきた。ガスタービンを想定した耐熱・高強度セラミックス開発を目標にしていたが、設計の問題(回転蓄熱式熱交換器の採用、金属をベースとした設計ゆえセラミック部品にマッチしない設計等)、セラミック材料の性能及び部品製造技術がエンジン要求性能を満足出来なかったために、事業化時期は大幅に遅れたと評価されることが多い[11]。

---

5) 国家プロジェクトを実施する以外にも、技術ロードマップの制定や、「ファインセラミックス産業技術戦略」制定（2000 年）等による開発環境整備も実施している。

6) NEDO「セラミック材料の技術開発に係わるアウトカム深堀調査報告書」，2008 年，43 ページ。本調査は、筆者の所属する NEDO ナノテクノロジー・材料技術開発部で平成 19 年度に実施したものである。

7) 通商産業省産業技術審議会「セラミックガスタービン技術開発最終評価報告書」，1999 年，1～2 ページ。

8) NEDO 研究評価委員会「シナジーセラミックスの技術開発事後評価報告書」，2004 年，4～8 ページ。及び、鈴木義和『MOT で読むファインセラミックス技術戦略』日刊工業新聞社，2004 年，73～84 ページ。

9) 社団法人日本ファインセラミックス協会の略称。同協会は、ファインセラミックスに関心を持つ企業・銀行・商社等を会員として、1982 年に発足した。当初は任意団体であり、1986 年に社団法人化した。

10) 財団法人ファインセラミックスセンターの略称。同センターは、中部地方の財界・セラミックメーカが中心となって、1985 年に設立された。

11) 同前「セラミックガスタービン技術開発最終評価報告書」，19～20・38 ページ。

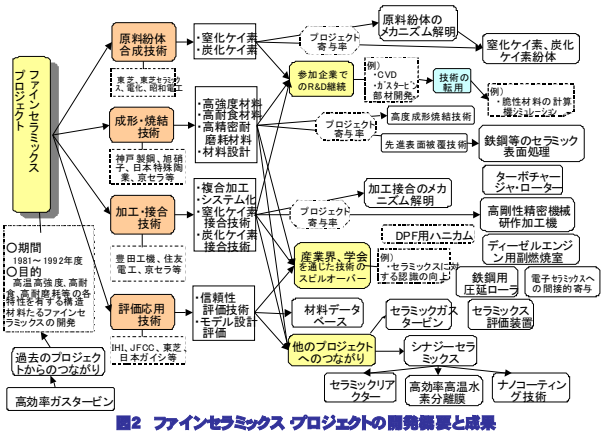

図2　ファインセラミックス プロジェクトの開発概要と成果

出典:NEDO「セラミック材料の技術開発に係わるアウトカム深堀調査報告書」, 2008年, 102ページ

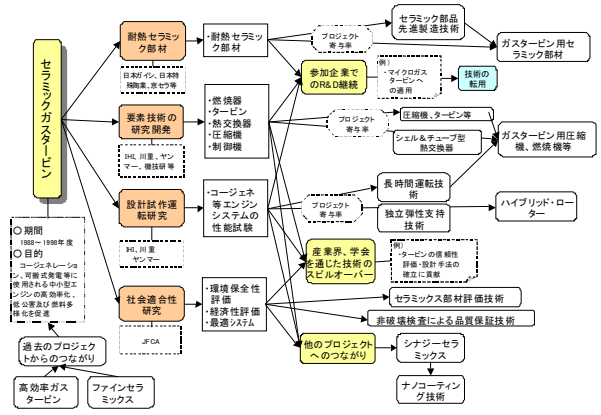

図3　セラミックガスタービン技術開発の開発概要と成果

出典:NEDO「セラミック材料の技術開発に係わるアウトカム深堀調査報告書」, 2008年, 106ページ

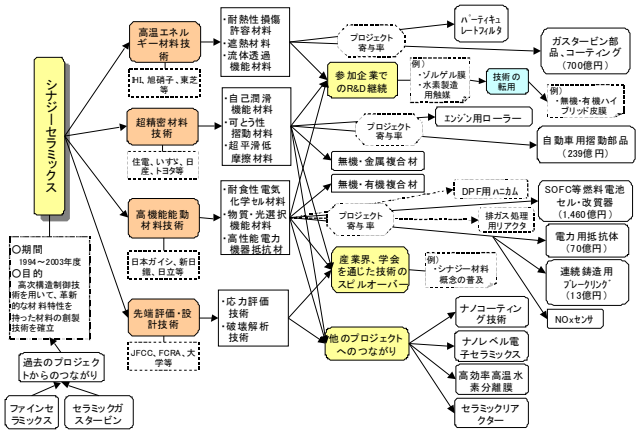

図4　シナジーセラミックスの開発概要と成果

出典:NEDO「セラミック材料の技術開発に係わるアウトカム深堀調査報告書」, 2008年, 109ページ

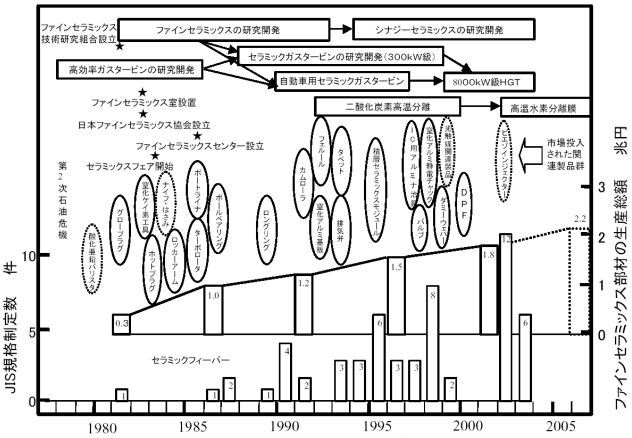

図5　セラミックス関連プロジェクトと市場環境及びJIS規格制定数の推移

出典:日本ファインセラミックス協会「セラミックス材料の早期事業化のための調査研究報告書」, 2003年。

表1　各国のセラミックスガスタービン国家プロジェクト概要

実施国		米国						欧州		日本
プロジェクト名		BMD計画	CATE計画	AGT計画	ATTAP計画	CSGT計画	ATS計画	BMFT計画	AGATA計画	CGT
開発目標		1971-1979	1976-1983	1979-1987	1987-1993	1992-1998	1993-2000	1974-1984	1987-1997	1991-1997
開発目標	出力規模	150kW	―	74.6kW	①74.6kW ②149.2kW	5,000kW	①数十MW ②250-500MW	①100kW ②150kW ③300kW	60kW	100kW
開発目標	TIT	1,371℃	1,240℃	1,371℃	1,371℃	1,121℃	1,427℃	1,350℃	1,350℃	1,350℃
開発目標	効率	―	―	―	―	31.30%	60%	―	―	40%
開発目標	運転時間	―	―	―	3,500時間	4,000時間	8,000時間	―	―	100時間
開発目標	その他	自動車用	大型トラック・バス用 燃費向上20% 既存のGTをセラミックス化	自動車用 燃費向上30%以上 多種燃料性 コスト・耐久性は従来以上	AGT計画の後継 高温強度・破壊靭性向上 部品化技術確立 信頼性評価手法確立	コージェネレーション用 既存のGTセラミックス化	産業用発電GTの高効率化 燃料多様化 発電コスト10%削減 2000年に実用化	西独BMFTが中心 自動車用CGS開発計画	ハイブリッド車用 触媒燃焼器・ラジアルタービンに適応	自動車用 多種燃料使用 NOx提言
成果		世界初のCGTプロジェクト TIT1,371℃運転成功 CGTの概念構築 課題抽出	TIT1.132℃運転 78個の部品をセラミックス化 セラミックス材料への転換が不可欠と結論	TIT1,204度で85h運転 熱効率17.5% 高温強度・破壊靭性・金属接合技術が必要と結論 ローター熱交換器には不適合	長期耐久試験を実施 TIT1,371℃で267h運転 セラミック部品寿命予測技術向上	初段の静翼、動翼と燃焼器をセラミック化 TIT1,048℃ 熱効率29.7% TIT1010℃での試験に失敗	商品化にかなりの遅れ ブレード表面セラミックコーティング技術開発	ローターは1,170℃で周速420m/sを達成 ローター要素試験で1,327℃、累積140h運転	タービン効率86%、周速600m/sを達成 触媒燃焼試験を試作 AGATA-Ⅱに移行	TIT1,350℃、2h運転達成 熱効率35.6% Nox排出規制クリア

出典：通商産業省産業技術審議会「セラミックガスタービン技術開発」, 1999年, 42ページ。

［3］国家プロジェクトと民間企業との共進的発展

国内でのファインセラミックス市場の立ち上がりと、国家プロジェクトのスタートは、正に期を同一としていると考えられる。国家プロジェクトが関係した分野では、2006年時点での世界シェアが、電子部品セラミックスで39.9%、化学・環境プロセスセラミックスで 38.9%、セラミックスコーティングで 36%、構造用セラミックスで 33.9%である[12]。このような市場創出をもたらしたのが、国家プロジェクトと民間企業との共進的発展である。代表的なセラミックスの出口分野として、自動車用部材、携帯電話用部材、燃料電池用部材が挙げられ、これらの分野を担う企業に対してヒアリングをし、次の結果を得た。

自動車用部材については、エンジン機構（タペット・ピストンリングライナ・ボールベアリング）、エンジン機能（スパークプラグ・グロープラグ・ターボチャージャ）、ディーゼルエンジン噴射系（高圧ポンプシール・ピエゾイ

[12] 前掲「セラミック材料の技術開発に係わるアウトカム深堀調査報告書」, 2008 年, 67 ページ。

ンジェクタ)、排ガス処理システム(触媒用ハニカム・DPF用ハニカム・γ－アルミナ材・O_2センサ)、ECU セラミックス基板、二次電池セパレータが用いられている。参画したA社ヒアリングでは、DPF用ハニカム(クリーンディーゼル用の微粒子除去フィルター)は国家プロジェクの成果が活用されている、「シナジーセラミック」及び「セラミックリアクター」で開発されたNOx除去用の電気化学セルとOSC材(酸素貯蔵キャパシタ)は、今後実用化される可能性が高い、国家プロジェクトの材料データベースは、各社独自のデータベースに発展している。B社ヒアリングでは、炭化ケイ素の製造技術や評価技術は、間接的に同社のDPF用ハニカム等開発技術に寄与している、固体酸化物形燃料電池(SOFC)は国家プロジェクトの中で開発を進めている、といった結果が得られた[13]。

また、携帯電話用部材では、ディスプレイ用透明電極、アンテナ、スピーカ/マイク、バイブレータ用圧電アクチュエータ、セラミックス多層基板、セラミックパッケージ、誘電体フィルター、積層セラミック・コンデンサ、積層コイル、セラミック発振子が用いられている。複数社のヒアリングでは、評価・解析・試験技術及びマクロな意味での波及効果はあったものの、半年スパンでの技術革新が求められる分野であり、構造材を中心とした国家プロジェクトの寄与度は他の分野より相対的に低いという結果が得られた[14]。

燃料電池用部材では、SOFC(開発中)の高効率化のために、スタックの接続部材、終端部材、シール・マニホールド材、セルの電解質、燃料側電極、空気側電極、インターコネクタなど多くの部品にセラミックスの適応が必要とされている。A社ヒアリングでは、SOFC開発のために「シナジーセラミック」及び「セラミックリアクター」に参画し、ほとんどの成果はプロジェクトで得た。B社ヒアリングでは、「セラミックリアクター」でチューブ型SOFCを、自社内で板状セルSOFCを競合的に開発し、実用化を目指している。C社ヒアリングでは、「シナジーセラミック」で気相析出含浸法による材料複合化技術を開発、ミリ単位のガス流路を持つハニカム型SOFCを試作し、さらに「セラミックリアクター」でハニカム構造SOFCでの発電実証試験を実施するなど、国家プロジェクトで主に開発を進めている、という結果が得られた[15]。

以上のように、材料系による寄与度の大小はあるものの、ファインセラミックス分野の国家プロジェクトは、民間企業の開発にスピルオーバーし、共進的発展があったことが分かった。ファインセラミックス関連企業が80～90年代の国家プロジェクトに参画し、材料系の検討、焼結方法、機械試験方法等の基礎的な研究を、国研・大学・企業連合の連携体制の中で加速度的に進め、自社開発にスピルオーバーさせていたと考えられる。

［4］結論

日本の「ファインセラミックス」産業立ち上げに直接的な契機を与えたのは、米国のBMDプロジェクトであった。同プロジェクトは、既に述べた理由により、事業化には失敗している。しかし、高強度・超耐熱セラミックス材料を国家プロジェクトで開発するという思想は、日本にも導入され、1981年の「ファインセラミックス(プロジェクト)」以降の国家プロジェクトの実施につながった。日本の代表的なセラミックス企業のほとんどと、自動車メーカーを始めとしたユーザー側企業は、初期の代表的国家プロジェクトに参画し、原料粉体の高純度化、量産化技術、成形・焼結技術、加工・接合技術といった基盤技術を獲得した。90年代後半以後は、特定の出口を目指した自社開発や、より分野が絞られた後継国家プロジェクトに参画していった。すなわち、自動車向けセラミックスガスタービンエンジン開発が米国国家プロジェクトで生まれ、それにキャッチアップするため、国内の産学官を挙げたプロジェクトで基礎技術を集中的に開発し、基礎技術獲得後は、自社開発にスピルオーバーさせ、市場創出に邁進していった。

以上の事実から得られるファインセラミックス産業の成立に対する日本の技術政策の歴史的役割について、以下の結論が得られる。即ち、新たなコンセプトを持った技術分野が誕生した場合は、一国の産学官を挙げた国家プロジェクト実施による効果は非常に大きいと考えられる。一方で、初期の国家プロジェクトで基盤技術が参画した民間企業にスピルオーバーされた後は、民間主導の研究開発の役割が大きくなり、市場創出が一気に進むことになる。それに反比例するように、共通基盤的な大型国家プロジェクトの役割は小さくなり、実施される場合においても、まだ市場が立ち上がっていない特定分野に絞られたプロジェクトへとスケールダウンする傾向にある。さらに言及するならば、「ファインセラミックス」を超える次世代のコンセプトをもったセラミックス技術分野が誕生するならば、「ファインセラミックス」分野が当初そうであったように、共通基盤的な大型国家プロジェクトが再び求められることが予見される。

なお、本発表では、海外の国家プロジェクトと民間企業との関わりについて、或いは、セラミックス産業以外での事例に言及しなかったが、これらについては、今後の課題としたい。

---

[13] 前掲「セラミック材料の技術開発に係わるアウトカム深堀調査報告書」，2008年，4～11ページ。
[14] 同前，12～16ページ。
[15] 同前，17～23ページ。